

**Untersuchungen der Viskosität
pathologischer menschlicher Spermien mit
Hilfe der Rotationsviskosimetrie**

von

Hans-Heinrich Bayer

aus

Bochum

1972 # 25 7

Aus der Dermatologischen Klinik und Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. med. O. Hörnstein

Untersuchungen der Viskosität pathologischer menschlicher Spermien mit Hilfe der Rotationsviskosimetrie

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Hans-Heinrich Bayer

aus

Bochum

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg.



Dekan: Professor Dr. G. Koch

Referent: Professor Dr. O.P. Hornstein

Tag der mündlichen Prüfung: 21. März 1972

Meinen lieben Eltern in Dankbarkeit gewidmet.

INHALTSANGABE

Einführung	1
Eigene Fragestellung	3
Physikalische Grundlagen der Viskosität und Methoden zu ihrer Bestimmung	4
Material und Methoden	6
Ergebnisse	9
I. Viskositätsverlauf	9
II. Einteilung und Klassifizierung der Viskositätswerte	12
1. Einteilung der absoluten Viskositätswerte	12
2. Einteilung der Gradienten	16
III. Mehrfachmeßreihen	22
1. Mehrfachmeßreihen mit denselben Chargen von Ejakulaten	22
2. Mehrfachmeßreihen mit verschiedenen Chargen von Ejakulaten	23
IV. Temperaturabhängigkeit der Spermaviskosität	24
V. Untersuchung der Viskosität des üblichen artifiziiellen Inseminationsmediums	26
VI. Korrelation spermatologischer Kriterien zur Viskosität und zum Viskositätsverlauf	28
1. Spermienzahl	28
2. Wiederverflüssigungszeit	32

VII. Korrelation klinisch-andrologischer
Befunde zur Viskosität und zum

Viskositätsverlauf	36
1. Entzündungen von Prostata, Samenblasen und Nebenhoden	36
2. Varikozelen	38
3. Androgenmangelsyndrome	40
Diskussion	41
Zusammenfassung	46
Literaturnachweis	48

EINFÜHRUNG

Das menschliche Sperma besteht nur zu 2 - 5 % aus den in den Hoden gebildeten Spermien (22; 33; 42; 48). Der übrige Teil entstammt den Sekreten der nachgeschalteten Organe, so der Nebenhoden, des ampullären Teils der Samenblasen, der Bläschendrüsen und der Prostata.

Bei der Ejakulation unterliegt das menschliche Sperma einer Koagulation. Zwei enzymatische Systeme sind bei diesem Vorgang von Bedeutung: Zunächst wird die Prokoagulase aus den Samenbläschen in das eigentlich koagulierende Enzym, die Koagulase, überführt. Dies geschieht unter dem Einfluß der Vesikulase, die aus der Prostata stammt. Die Koagulase wirkt auf eine Proteinsubstanz ein, die in den Bläschendrüsen gebildet und als Koagulinogen bezeichnet wird. Durch diese zweistufige Enzymkinetik entsteht eine Gelformation der sonst flüssigen Sekrete. Eingeschlossen darin ist der Anteil, der aus dem ampullären Teil der Samenleiter beigesteuert wird und eine sehr dichte Zellsuspension von Spermien enthält. Normalerweise verbleibt das Sperma für 10 - 20 Min. in diesem Zustand der Koagulation. Während der Zeit sind die Spermien nicht bewegungsfähig, sie sind in unterschiedlicher Verteilung in der Gelmasse gebunden.

Die Wiederverflüssigung des koagulierten Spermas verläuft in drei Schritten: Zunächst findet eine Fibrinolyse statt durch ein dem Plasmin ähnlichen Enzym aus der Prostata. Hierzu ist wieder ein Aktivator erforderlich; das eigentliche Enzym liegt zuerst in inaktivem Zustand vor. Ein proteolytisches Ferment, die Fibrinogenase, ist im weiteren Abbau nötig. Dieses Ferment ähnelt in seiner biologischen Funktion dem Chymotrypsin. Schließlich führt die Amino-peptidase zur Hydrolyse von Di- und Tripeptiden. Neuere Forschungen zeigten, daß noch weitere proteolytische Fermente im Seminalplasma zu finden sind (1; 4; 19; 20; 26; 27; 29).

Eine derartige Koagulation findet sich nur bei bestimmten Spezies, so beim Menschen, bei Menschenaffen, beim Eber, bei Nagern und bei verschiedenen Insekten. Es liegt auf der Hand, daß eine solche Enzymkinetik störanfällig ist. Es ist möglich, daß die

Samenblasen nicht angelegt sind, daß die einzelnen Organe in ihrer Funktion durch Entzündungen oder andere Durchblutungsstörungen geschädigt sind. Schädigungen können auch durch Störung der nervalen Versorgung oder toxisch bedingt sein. Möglich ist schließlich eine Störung in der Sequenz der einzelnen Emissionen, so daß Substrat und entsprechendes Enzym nicht in optimaler Konzentration zusammentreffen, Störungen, die durch eine nicht koordinierte Stimulation hervorgerufen werden.

Nach der Wiederverflüssigung stellt das menschliche Sperma eine Lösung dar, die sich nur zu einem geringen Teil aus der Zellsuspensionierung der Spermien zusammensetzt. Der weitaus größte Teil besteht aus anorganischen und vor allem organischen Bestandteilen, wobei letztere durch das Mischungsverhältnis makro- und mikromolekularer Substanzen die Konsistenz der Flüssigkeit, also die Viskosität, bestimmen. So konnten zwar SZUMOWSKI u. a. darlegen, daß bei Bullensperma mit einer Dichte von 80.000 Spermien/ml eine Konsistenz von 1,76 der Flüssigkeit verglichen mit destilliertem Wasser, bei einer Spermiedichte von 2.260.000 pro ml jedoch eine Konsistenz von 10,52 verglichen mit Wasser resultierte (4; 29; 45). Andere Bedingungen liegen demgegenüber bei Ejakulaten vor, die sich in ihrem Volumen weitgehend aus der flüssigen Phase aufbauen, so beim menschlichen Sperma. Die Viskosität wird hier in erster Linie durch makromolekulare Substanzen dieser flüssigen Phase bestimmt. Zu berücksichtigen ist auch der Vorgang der Koagulation und Wiederverflüssigung derartiger Ejakulate, wobei eine große Variationsbreite auch im Normalfall mit einem Anteil des Prostatasekretes von 13 - 33 % und der Samenbläschensekrete von 46 - 80 % des Gesamtvolumens angenommen werden darf (13; 14; 20). Weiterhin muß die Variabilität der Enzymkinetik in Betracht gezogen werden: Zwischen den Extremen einer sehr festen Koagulation, d. h., einer verspäteten bzw. sich nur unvollständig vollziehenden Wiederverflüssigung einerseits und einer kaum bzw. nicht stattfindenden Koagulation anderseits sind alle Übergangsformen möglich (5; 6; 16).

Vor diesem Hintergrund stellt die Angabe von VASTERLING, derzufolge die Viskosität des verflüssigten menschlichen Spermas etwa sechsmal größer ist als die des Wassers, kaum eine Präzisierung

dar (48).

Das menschliche Seminalplasma muß als eine instabile Lösung angesehen werden, es spielen sich enzymatische Vorgänge ab. Eine Änderung der Osmolarität konnte ROTHSCCHILD nachweisen (38; 39). Bekannt sind auch eine Verschiebung des pH-Wertes zum alkalischen Bereich und ein Zuckerabbau in Form der Fruktolyse.

Bei der vorliegenden Problematik stellt sich die Frage nach einer möglichen Konstanz, bzw. Änderung auch der Viskosität des Seminalplasmas (26; 28; 42).

EIGENE FRAGESTELLUNG

Aufgabe und Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Bedingungen der Viskosität des menschlichen Spermas zu untersuchen, d. h., absolute Werte unmittelbar nach Wiederverflüssigung zu ermitteln sowie darüber hinaus den Ablauf der Viskositätseigenschaften in der Zeit zu bestimmen. Weiterhin sollte, ausgehend von den so ermittelten Werten und dem Viskositätsverlauf verschiedener meist pathologischer menschlicher Spermien, eine Beziehung zu den klinischen und anderweitigen spermatologischen Gegebenheiten hergestellt werden; es sollte also die Relevanz derartiger Werte für die Klinik untersucht werden.

PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN DER VISKOSITÄT UND METHODEN ZU IHRER BESTIMMUNG

Physikalisch wird die Viskosität von Flüssigkeiten nach dem NEWTON'schen Reibungsgesetz definiert. Nach EDER (12) gilt hierbei: "Wirkt in der Fläche F die Schubkraft P mit der Geschwindigkeit u gegen die Grundfläche, wobei der Abstand von dieser s sein soll, so gilt $\frac{P}{F} = \tau = \eta \frac{du}{ds}$, d. h., die Schubspannung τ ist bei vorgegebenem Geschwindigkeitsgefälle der Zähigkeit η proportional. Wird die Schubspannung in dyn/cm^2 und das Geschwindigkeitsgefälle in $\text{cm s}^{-1}/\text{cm} = \text{s}^{-1}$ angegeben, so ergibt sich für die Zähigkeit die Dimension dyn s/cm^2 . Die Einheit 1 dyn s/cm^2 wird 1 Poise (P) genannt (nach POISEUILLE). Den hundertsten Teil eines Poise nennt man Centipoise (cP)."

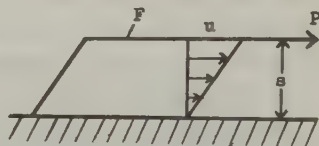


Abb. 1
Zur Definition der Zähigkeit
(aus EDER)

Ein einfaches Verfahren zur Bestimmung der Viskosität einer Flüssigkeit besteht in der Anwendung der Kapillarviskosimetrie (8; 12; 41; 44). Die zu messende Flüssigkeit wird durch eine zylindrische Kapillare geleitet, wobei nur relativ kleine Druckdifferenzen angewendet werden. Die Viskosität ist der Durchflußzeit für ein vorgegebenes Volumen proportional; es gilt das HAGEN-POISEUILLE'sche Gesetz. Viskosimeter, die auf diesem Prinzip beruhen, wurden von OSTWALD, UBBELOHDE und COUETTE entwickelt (12). Sie fanden Anwendung bei Viskositätsmessungen von Zervikalschleim und Bullensperma (8; 44).

Fallkörperviskosimeter erfordern ein größeres Flüssigkeitsvolumen und sind deshalb zur Bestimmung biologischer Lösungen weniger geeignet. Torsionsviskosimeter und oszillierende Zylinder wurden zur Messung der Viskosität von Gasen herangezogen (12).

Unsere Untersuchungen basierten auf dem Prinzip der Rotationsviskosimetrie. Das Meßgerät besteht aus einem beweglichen Teil, der

Drehbewegungen oder Drehschwingungen um eine feste Achse ausführt sowie zum anderen aus einem feststehenden Gehäuse, in welches die zu untersuchende Flüssigkeit eingebracht wird. Sie befindet sich somit zwischen rotierendem und feststehendem Teil und besitzt in ihren Grenzschichten die Geschwindigkeit der Begrenzungswand. Die Viskosität ist direkt proportional dem Drehmoment, das nötig ist, die rotierende Bewegung aufrecht zu erhalten (31; 35).

Bei unseren Untersuchungen benutzten wir das BROOKFIELD-Mikro-Viskosimeter Modell LVT. Es besteht aus einem Platte-Konus System, bei dem die Flüssigkeit, die es zu untersuchen gilt, zwischen Platte und Konus eingebracht wird. Der Konus rotiert mit einer konstanten Geschwindigkeit um seine Achse, wobei er über eine eingebaute Feder aus einer Beryllium-Kupfer Legierung angetrieben wird. Der Grad der Federspannung, der auf einer sich mitdrehenden Skala abgelesen werden kann, entspricht der Viskosität der Flüssigkeit. Es können acht Rotationengeschwindigkeiten im Bereich von 0,3 - 60 UpM (Umdrehungen pro Minute) eingestellt werden.

Grundsätzlich muß zwischen NEWTON'schen und Nicht-NEWTON'schen Lösungen unterschieden werden. Biologische Flüssigkeiten wie Blut, Zervikalschleim oder Sperma zeigen Besonderheiten in ihren Fließeigenschaften und verhalten sich nicht wie einfache NEWTON'sche Lösungen. Der Unterschied beruht auf gelösten makromolekularen Substanzen wie Proteinen und suspendierten Partikeln (31). Zur Charakterisierung der rheologischen Eigenschaften einer solchen Nicht-NEWTON'schen Lösung müssen Schubspannung und Geschwindigkeitsgefälle zueinander in Bezug gesetzt werden. Dadurch können die Fließeigenschaften von Blut und Blutplasma erfaßt werden, von Flüssigkeiten also, die in einem Gefäßsystem wechselnden Durchmessers und wechseln der Wandspannung zirkulieren, besonders, da sich das innere Gefüge einer solchen Flüssigkeit noch zudem ändern kann, z. B. im Schock. Für derartige Untersuchungen sind also Methoden der Kapillarviskosimetrie unzureichend, da das Geschwindigkeitsgefälle hinsichtlich der jeweils resultierenden Schubkraft nicht variiert werden kann (11; 15; 36; 49).

Unseren Untersuchungen lag nicht die Thematik der inneren rheologischen Gefügeeigenschaften des Seminalplasmas zugrunde, sondern

die Bestimmung der Sperma-Viskosität in absoluten Werten, gemessen in Abhängigkeit von der Zeit. Nach Durchführung von Vorversuchen mit unterschiedlichem Geschwindigkeitsgefälle wurde die konstante Rotationsgeschwindigkeit von 60 UpM gewählt, wobei beim BROOKFIELD-Mikro-Viskosimeter Modell LVT die reale Viskosität direkt auf der Skala abgelesen werden konnte.

MATERIAL UND METHODEN

Die Messungen wurden bei konstanter Temperatur von 23 - 24°C durchgeführt. Ein Umlaufwasserbad des Meßgefäßes sicherte die Temperaturkonstanz. Das Platte-Konus System wurde derart eingestellt, daß Spermamengen von 1,4 ml zur Messung kamen. Bei geringeren Volumina konnte keine Adhäsion an den rotierenden Konus erreicht werden. Geeicht wurde das Meßgerät mit einer vom Hersteller gelieferten Standardflüssigkeit, deren Viskosität bei 25°C konstant 10,3 cP betrug.

Es wurden Messungen über eine Zeitspanne von jeweils 41 Min. durchgeführt: Zunächst im zeitlichen Abstand von 1 Min. nach der Erstmessung eine zweite, danach in Abständen von je 5 Min. fünf weitere Messungen, schließlich eine letzte Messung nochmals 15 Min. später.

Der Meßvorgang als solcher dauerte bei jeder Messung etwa 20 Sek. Die zweite Messung, also 1 Min. nach der Erstmessung, erbrachte durchweg einen Viskositätsabfall, der an dieser Stelle wesentlich steiler war als bei den noch nachfolgenden Messungen. Hierbei handelte es sich um ein Initialphänomen, das in ähnlicher Weise bei der Bestimmung der Blutviskosität gefunden wurde, wobei eine Äquilibrierungszeit von 4 Min. erforderlich war (11; 15; 36). Unsere Viskositätsmessungen am menschlichen Sperma zeigten auf, daß bei diesem Medium eine Stabilisierung schon nach 1 Min. erreicht war.

Bei Untersuchungen der Blutviskosität wurde dieses initiale

Phänomen als "thinning effect" bezeichnet, wir selbst möchten es als "Ausbreitungseffekt" ansprechen; dieser ist abhängig von der Meßmethode (Rotationsviskosimetrie) und der zu untersuchenden Lösung (31; 35; 36).

Die Viskosität wurde durchgehend bei der höchstmöglichen Rotationsgeschwindigkeit des Konus von 60 UpM gemessen und in der absoluten Dimension cP angegeben. Zur Charakterisierung des Viskositätsverlaufes wurden der Gradient Anfangsmeßwert/Endmeßwert sowie der Gradient 1-Minutenmeßwert/Endmeßwert berechnet. Auf Grund des oben geschilderten meßtechnisch bedingten initialen Viskositätsabfalles (Ausbreitungseffekt) wurde lediglich der Gradient 1-Minutenmeßwert/Endmeßwert als verbindlich angenommen. Aus demselben Grund wurde nicht der Viskositätswert der Anfangsmessung, sondern der 1-Minutenmeßwert der Viskosität als verbindliche Bezugsgröße gewählt.

Aus technischen Gründen war es nicht möglich, alle Messungen unmittelbar nach Wiederverflüssigung der Ejakulate durchzuführen. Die größte Anzahl an Proben wurde innerhalb der ersten Stunde nach Wiederverflüssigung untersucht, die zweitgrößte Anzahl innerhalb der zweiten Stunde. Weitere Messungen wurden in der dritten und vierten Stunde nach Wiederverflüssigung durchgeführt.

Die Beobachtungen des Viskositätsverlaufes erstreckten sich auf den bereits geschilderten Meßgang von 41 Min. Um Aussagen über den weiteren Viskositätsverlauf zu ermöglichen, wurden neue Chargen einiger Ejakulate nach verschiedenen, längeren Zeitintervallen untersucht.

Eine andere Untersuchungsreihe betraf Messungen mit ein und derselben Charge eines Ejakulates unmittelbar nach Ablauf einer ersten Meßreihe sowie in weiteren stündlichen Abständen. Während der gesamten Zeit verblieb die Charge unter konstanter Temperatur im Meßgerät.

Die Temperaturabhängigkeit der Viskosität wurde von uns in einer gesonderten Versuchsreihe bei 23 und 37°C untersucht: Die im Meßgerät belassene Charge wurde unmittelbar nach einer Meßreihe bei 23°C auf 37°C erwärmt. Diese Temperaturerhöhung nahm

bei dem verwendeten Thermostaten (Colora, 2000 Watt) eine Zeit von 10 Min. in Anspruch. Unmittelbar nach Ablauf der Meßreihe bei 37°C wurde dieselbe Charge, die während der gesamten Zeit im Meßgerät verblieb, mittels Kaltwasserdurchlauf wieder auf 23°C abgekühlt und erneut gemessen. Für die Abkühlung war eine Zeit von ca. 15 Min. erforderlich.

Schließlich wurden Messungen an dem in der Humanmedizin üblichen Inseminationsmedium durchgeführt, wobei die absolute Viskosität, der Viskositätsverlauf und die Temperaturabhängigkeit untersucht wurden (29).

Insgesamt wurden 111 Meßreihen durchgeführt; dabei handelte es sich um 76 Ejakulate, die in der Klinik durch Masturbation gewonnen wurden. Als Auffangbehälter dienten sterilisierte graduierte Standgefäße, die durch Gummistopfen zu verschließen waren. Bei Raumtemperatur und unter Vermeidung starken Lichteinfalles wurde die Wiederverflüssigung der Ejakulate abgewartet und mit einer Platinöse bzw. einem Glasstab bestimmt.

Die Karenzzeit war einheitlich und lag durchgehend bei vier bis fünf Tagen.

Die Ejakulate wurden unter den üblichen Bedingungen spermatoologisch untersucht. Es wurden die Zellzahl/ml und die Gesamtzahl der Spermien des jeweiligen Ejakulates bestimmt. Die Spermienbeweglichkeit wurde durch Auszählen von 200 Spermien quantitativ nach Eintritt der Wiederverflüssigung sowie stündlich innerhalb von drei Stunden bestimmt. Weiterhin wurden Geschwindigkeit und Linearität, also die progressive Motilität, jeweils subjektiv geschätzt. Die Spermienmorphologie wurde in der üblichen Art und Weise mit der GIEMSA-Färbung eines Ausstrichpräparates beurteilt, der Prozentanteil der normalkonfigurierten Spermien sowie der Anteil der pathologischen Formen bestimmt. Die zytologische Differenzierung des anderweitigen Zellmaterials diente der Beurteilung des Anteils von Zellen der Spermiogenese und von eventuell vorhandenen Entzündungszellen. Hinsichtlich der plasmatischen Kriterien wie pH-Wert, Aussehen und Beimengungen wurden die in der humanen Spermatalogie üblichen Bestimmungen durchgeführt. Initiale

Fruktose sowie Fruktoseabfall bzw. Anstieg wurden stündlich in einem Zeitraum von drei Stunden gemessen (20; 22; 42; 47; 48). Die zusammenfassende spermatologische und klinisch-andrologische Diagnose wurde durch die Ärzte der andrologischen Abteilung des Krankenhauses gestellt.

Es wurde versucht, Beziehungen zwischen Viskosität und Spermien-dichte sowie Wiederverflüssigungszeit von Ejakulaten aufzudecken. In weiteren Korrelationsstudien suchten wir nach Zusammenhängen zwischen Spermaviskosität und einigen klinisch-andrologischen Befunden, so Entzündungen im Bereich der männlichen Adnexe, Varikozelen und einem Androgenmangelsyndrom.

ERGEBNISSE

I. VISKOSITÄTSVERLAUF

Zur Charakterisierung des Viskositätsverlaufes in der Zeiteinheit wurden mehrere Meßreihen in verschiedenen zeitlichen Abständen nach Wiederverflüssigung durchgeführt, wobei auch der meßtechnisch bedingte Ausbreitungseffekt demonstriert werden konnte. Nachfolgend werden graphische Darstellungen derartiger Meßreihen gebracht (Abb. 2 und 3). In beiden Fällen kamen die Spermaproben unmittelbar nach Wiederverflüssigung zur ersten Meßanalyse (Kurven A). Sie wiesen eine unterschiedlich hohe initiale Viskosität auf. Mit neuen Chargen (Kurven B) derselben Ejakulate wurde einmal ein neuer Meßgang zwei Stunden (Abb. 2), das andere Mal drei Stunden (Abb. 3) nach Wiederverflüssigung durchgeführt.

Beide Abbildungen zeigen sowohl das grundsätzliche Verhalten des Viskositätsverlaufes menschlichen Spermias in der Zeiteinheit als auch die Eigentümlichkeit des initialen Ausbreitungseffektes. Darüber hinaus wird deutlich, daß die Viskosität mit zunehmender Zeitdauer nach Wiederverflüssigung absinkt und der Viskositätsverlauf flacher wird. Dieser Sachverhalt wurde durch die späteren Kapitel "Gruppierung und Klassifizierung der Viskositätswerte" und

"Mehrfachmeßreihen" erhärtet und nochmals in der Diskussion aufgegriffen.

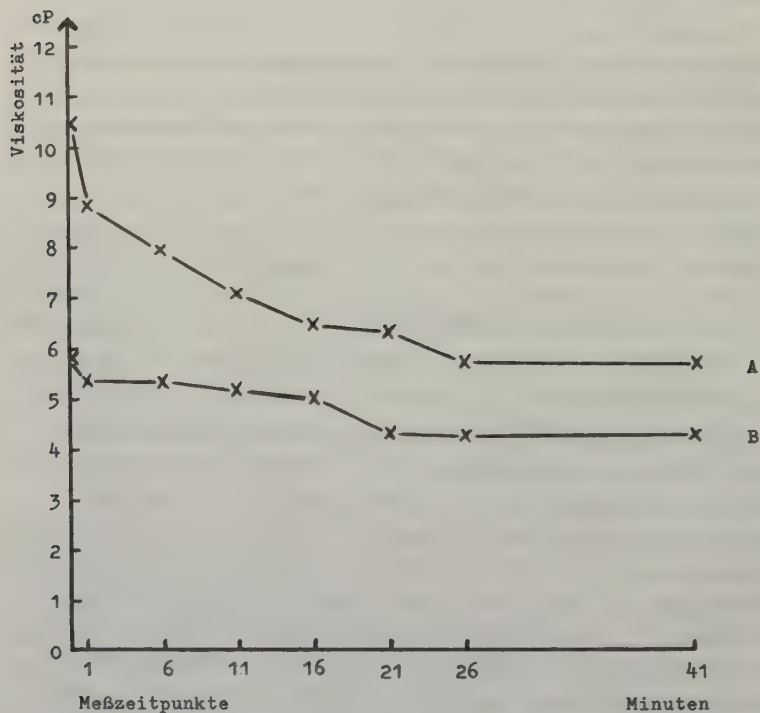
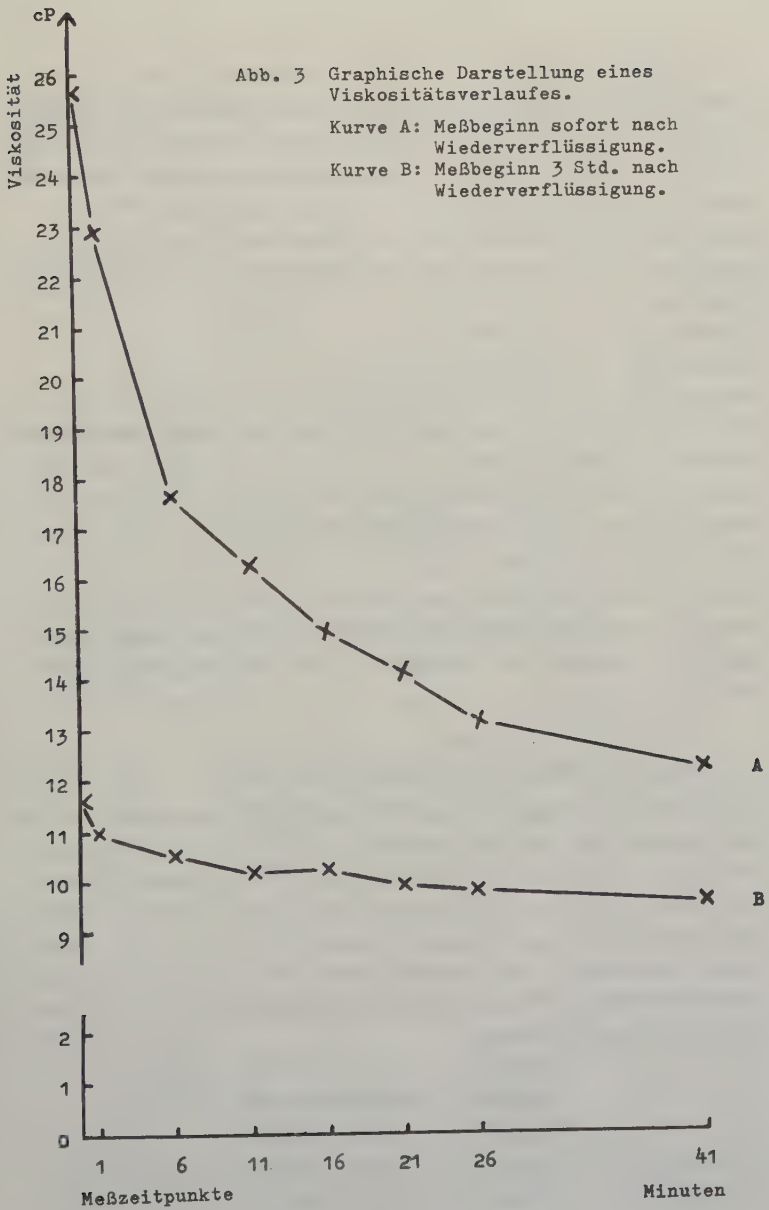


Abb. 2 Graphische Darstellung eines Viskositätsverlaufes.

Kurve A: Meßbeginn sofort nach Wiederverflüssigung.

Kurve B: Meßbeginn 2 Std. nach Wiederverflüssigung.



II. EINTEILUNG UND KLASSIFIZIERUNG DER VISKOSITÄTSWERTE

Im Teil "Material und Methoden" wurde dargelegt, daß es nicht möglich war, alle Meßreihen unmittelbar nach Wiederverflüssigung der Ejakulate durchzuführen. Um dennoch Aussagen über den Meßzeitpunkt zu gewährleisten, wurden vier Meßgruppen eingeführt, die sich gliedern wie folgt:

Meßgruppe 1	0 - 60 Min. nach Wiederverflüssigung	
Meßgruppe 2	61 - 120 Min.	"
Meßgruppe 3	121 - 180 Min.	"
Meßgruppe 4	181 - 240 Min.	"

Das bedeutet: In Meßgruppe 1 wurden die Viskositätswerte aller jener Ejakulate zusammengefaßt, bei denen der Beginn der Meßreihe innerhalb der ersten 60 Min. nach Wiederverflüssigung lag. Meßgruppe 2 enthält die Viskositätswerte derjenigen Ejakulate, bei denen der Beginn der Meßreihe innerhalb von 61 - 120 Min. nach Wiederverflüssigung lag usw.

Die nachfolgend genannten Viskositätswerte beziehen sich auf Grund der im vorigen Teil erläuterten methodischen Gesetze alle auf den 1-Minutenmeßwert und sind in der Dimension "Centipoise" (cP) angegeben.

1. Einteilung der absoluten Viskositätswerte

In der Meßgruppe 1 kamen 65 Proben zur Untersuchung ($n = 65$). Das Gruppenmittel der Werte dieser Gruppe betrug 14,1031 und die mittlere Standardabweichung 8,10. Auf Grund der großen Streuung der Viskositätswerte (3,1 - 54,5), wie sie Tab. 1 zeigt, wurden für eine Häufigkeitsanalyse der ermittelten Werte Viskositätsklassen aufgestellt. Das Prinzip dieser Einteilung beruhte auf einer Schätzung der statistischen Häufigkeitsverteilung. Es ergaben sich folgende Klassen:

Klasse 1	3,0 - 8,0 cP
Klasse 2	8,1 - 11,0 cP
Klasse 3	11,1 - 14,0 cP
Klasse 4	14,1 - 20,0 cP
Klasse 5	20,1 - 30,0 cP
Klasse 6	30,1 - 55,0 cP

Eine Zusammenstellung aller Viskositätswerte, die in Meßgruppe 1 ermittelt werden konnten, zeigt Tab. 1. Die Werte wurden in die jeweils zutreffende der sechs Viskositätsklassen eingestuft.

Visk.- Klassen	3,0-8,0	8,1-11,0	11,1-14,0	14,1-20,0	20,1-30,0	30,1-55,0
	3,1	8,1	11,1	15,0	22,3	43,0
	5,0	8,3	11,5	15,3	22,6	54,5
	5,1	8,4	11,7	15,5	23,0	
	5,4	8,6	11,8	16,4	25,9	
	6,0	8,7	11,9	16,9		
	6,3	8,9	12,5	17,6		
	6,5	9,0	12,5	17,7		
	7,3	9,1	13,2	18,2		
	7,3	9,2	13,5	18,5		
	7,4	9,5	13,5	18,6		
	7,6	9,7	13,7	19,0		
	8,0	9,7	13,8	19,3		
	8,0	9,8	13,9			
	8,0	10,0				
		10,0				
		10,0				
		10,5				
		10,9				
		11,0				
		11,0				

Tab. 1 Klasseneinteilung der absoluten Viskositätswerte der Meßgruppe 1.

Zahl der Messungen	65
Gruppenmittel	14,1031
mittlere Standardabweichung	8,10

In der Meßgruppe 2 wurden, wie schon erwähnt, diejenigen absoluten Viskositätswerte zusammengefaßt, die im Zeitraum von

61 - 120 Min. nach Wiederverflüssigung gefunden wurden; es handelt sich wiederum um die 1-Minutenmeßwerte. Die Anzahl der in dieser Gruppe gemessenen Proben betrug 28 ($n = 28$). Das Gruppenmittel der Werte lag bei 9,31, die mittlere Standardabweichung betrug 2,77. Über die in dieser Meßgruppe gefundenen Werte unterrichtet Tab. 2, die Einteilung in die sechs Viskositätsklassen erfolgte wie in Meßgruppe 1.

Visk.- Klassen	3,0-8,0	8,1-11,0	11,1-14,0	14,1-20,0	20,1-30,0	30,1-55,0
	4,4	8,1	11,1	14,2		
	5,0	8,9	11,7			
	5,7	9,3	12,2			
	5,7	9,7	12,2			
	6,0	9,8	13,2			
	6,2	9,9	13,3			
	6,5	10,0	14,0			
	7,0	10,2				
	7,9	10,2				
	8,0	10,3				

Tab. 2 Klasseneinteilung der absoluten Viskositätswerte der Meßgruppe 2.

Zahl der Messungen	28
Gruppenmittel	9,31
mittlere Standardabweichung	2,77

Meßgruppe 3 enthält die Viskositätswerte, die sich im Zeitraum von 121 - 180 Min. nach Wiederverflüssigung ergaben. Es handelt sich hierbei nur um ein kleines Kollektiv auf Grund von organisatorischen und technischen Bedingungen im Laborbetrieb. In dieser Gruppe wurden 5 Messungen durchgeführt ($n = 5$). Das Gruppenmittel betrug 8,14, die mittlere Standardabweichung 3,07. Tab. 3 zeigt die Ergebnisse, aufgeschlüsselt nach den bekannten Viskositätsklassen.

Visk.- Klassen	3,0-8,0	8,1-11,0	11,1-14,0	14,1-20,0	20,1-30,0	30,1-55,0
	4,6	8,3	11,3			
	5,5	11,0				

Tab. 3 Klasseneinteilung der absoluten Viskositätswerte der
M e ß g r u p p e 3.

Zahl der Messungen	5
Gruppenmittel	8,14
mittlere Standardabweichung	3,07

In Meßgruppe 4 schließlich wurden jene Viskositätswerte eingestuft, die am spätesten gemessen wurden, nämlich im Zeitraum von 181 - 240 Min. nach Wiederverflüssigung. Hier wurde an 13 Proben eine Messung vorgenommen ($n = 13$). Als Gruppenmittel ließ sich 6,99 errechnen, als mittlere Standardabweichung 1,825. Eine Übersicht über die ermittelten Werte, die in dieselben Viskositätsklassen wie die Werte der vorigen drei Gruppen eingeteilt wurden, erlaubt Tab. 4.

Visk.- Klassen	3,0-8,0	8,1-11,0	11,1-14,0	14,1-20,0	20,1-30,0	30,1-55,0
	4,9	8,5				
	5,3	8,8				
	5,5	9,6				
	5,7	10,7				
	5,8					
	6,0					
	6,2					
	6,7					
	7,1					

Tab. 4 (Erklärung siehe nächste Seite.)

Zu Tab. 4 Klasseneinteilung der absoluten Viskositätswerte der Meßgruppe 4.

Zahl der Messungen	13
Gruppenmittel	6,99
mittlere Standardabweichung	1,825

Bereits im Kapitel "Viskositätsverlauf" wurde angedeutet, daß die Viskosität des menschlichen Spermas mit zunehmender Zeitdauer nach Wiederverflüssigung abfällt. Dieser Viskositätsabfall zeigte sich am deutlichsten bei Messungen, die zu einem sehr späten Zeitpunkt nach Wiederverflüssigung durchgeführt wurden (Meßgruppe 4). Zur Veranschaulichung dieses Sachverhaltes wurden die Abb. 4, 5 und 6 nebeneinandergestellt: Sie zeigen auf, in welchem Verhältnis zueinander die sechs Viskositätsklassen in den Meßgruppen 1, 2 und 4 vertreten waren. (Wegen der geringen Fallzahl wurde bei Meßgruppe 3 auf eine derartige Darstellung verzichtet.) Dabei konnte erneut festgestellt werden, daß sich mit zunehmender Zeitdauer nach Wiederverflüssigung die Sperma-Viskosität mehr und mehr in den Bereich niedriger absoluter Werte verschiebt.

2. Einteilung der Gradienten

Im Teil "Material und Methoden" wurde dargelegt, daß zur Charakterisierung des Viskositätsverlaufes in der Zeiteinheit der Gradient 1-Minutenmeßwert/Endmeßwert errechnet wurde, wobei der letzte Meßwert nach 41 Min. als Endmeßwert galt. Die Einteilung der so gewonnenen Gradienten erfolgte ebenso wie die Einteilung der absoluten Viskositätswerte, d. h., es wurden dieselben Meßgruppen gewählt und dieselben Viskositätsklassen innerhalb dieser Meßgruppen, wobei der jeweilige 1-Minutenmeßwert maßgebend war.

Die in Meßgruppe 1 ermittelten Gradienten und ihre Verteilung auf die einzelnen Klassen zeigt die Tab. 5. Die Anzahl der Proben lag wieder bei 65, das Gruppenmittel der Gradienten betrug 1,2703, die mittlere Standardabweichung 0,314.

Innerhalb der Meßgruppe 1 wurde eine statistische Analyse auch bei den einzelnen Klassen vorgenommen. Dabei ergaben sich die Resultate, die in Tab. 9 zusammengefaßt wurden.

Abb. 4 Häufigkeitsverteilung der Viskositätsklassen
in Meßgruppe 1

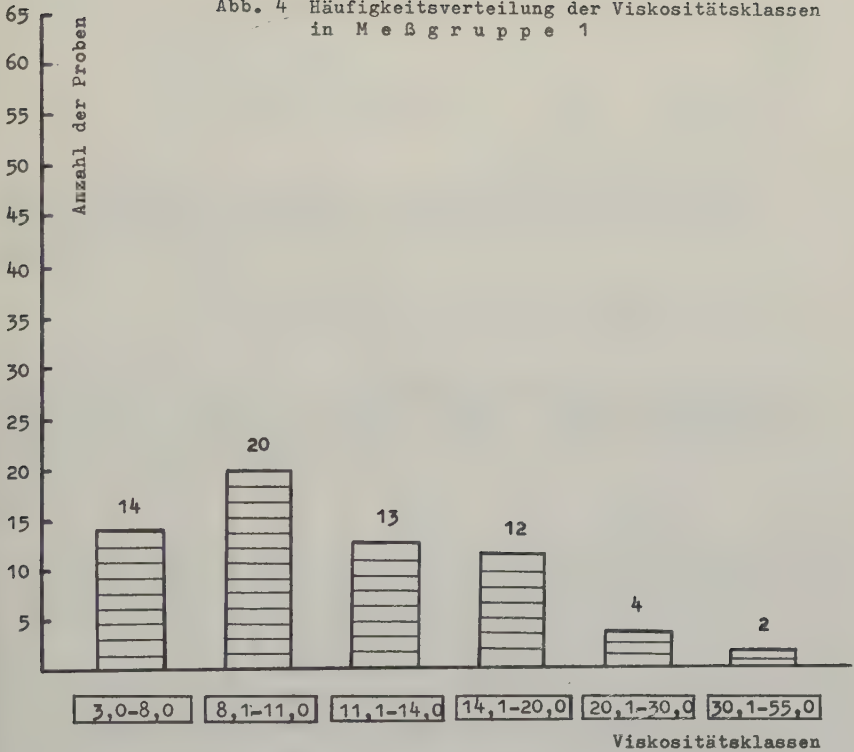
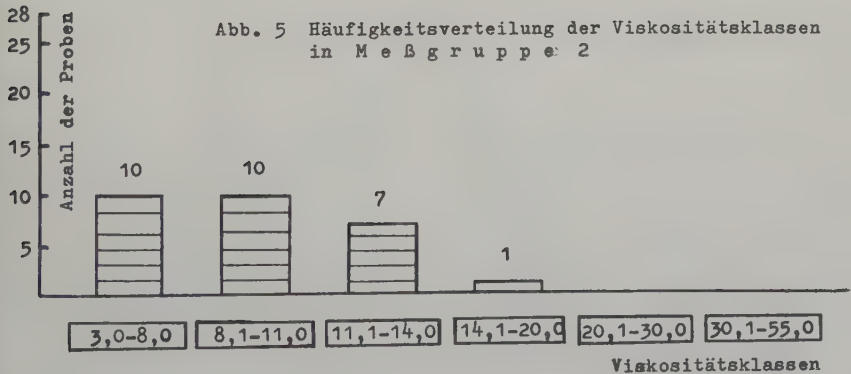


Abb. 5 Häufigkeitsverteilung der Viskositätsklassen
in Meßgruppe 2



Anzahl der Proben

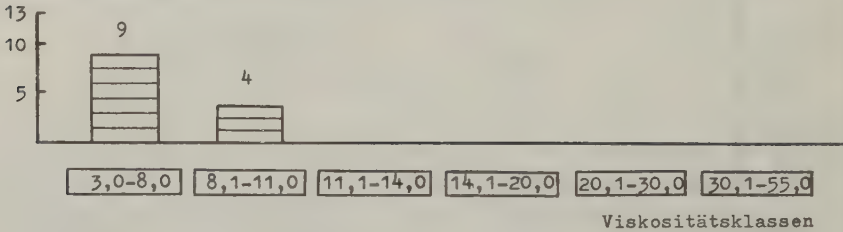


Abb. 6 Häufigkeitsverteilung der Viskositätsklassen
in Meßgruppe 4

Visk.- Klassen	3,0-8,0	8,1-11,0	11,1-14,0	14,1-20,0	20,1-30,0	30,1-55,0
	0,79	0,93	1,03	1,00	1,12	1,38
	0,93	0,95	1,04	1,06	1,39	2,95
	1,03	0,99	1,11	1,10	1,70	
	1,05	1,01	1,12	1,12	1,88	
	1,06	1,03	1,13	1,16		
	1,06	1,05	1,16	1,20		
	1,14	1,09	1,16	1,22		
	1,16	1,10	1,18	1,22		
	1,18	1,12	1,18	1,22		
	1,21	1,12	1,22	1,24		
	1,22	1,14	1,22	1,31		
	1,40	1,14	1,36	1,48		
	1,43	1,14	1,99			
		1,18				
		1,24				
		1,24				
		1,26				
		1,39				
		1,42				
		1,56				

Tab. 5 (Erklärung siehe nächste Seite.)

Zu Tab. 5 Klasseneinteilung der Gradienten der
M e ß g r u p p e 1.

Zahl der Messungen 65
Gruppenmittel 1,2703
mittlere Standardabweichung 0,314

Die Gradienten der Meßgruppe 2, also von Messungen, die im Zeitraum von 61 - 120 Min. nach Wiederverflüssigung durchgeführt wurden, zeigt Tab. 6, aufgeteilt unter die einzelnen Viskositätsklassen. In dieser Gruppe wurden 28 Meßreihen durchgeführt, wobei als Gruppenmittel der Gradienten 1,134 und als mittlere Standardabweichung 0,146 errechnet werden konnten.

Auch innerhalb dieser Meßgruppe wurden die einzelnen Klassen noch gesondert statistisch untersucht, die hierbei gefundenen Ergebnisse veranschaulicht Tab. 9.

Visk.- Klassen	3,0-8,0	8,1-11,0	11,1-14,0	14,1-20,0	20,1-30,0	30,1-55,0
	1,02	0,96	1,02	1,05		
	1,03	0,98	1,04			
	1,04	1,03	1,06			
	1,05	1,06	1,11			
	1,12	1,08	1,11			
	1,15	1,16	1,12			
	1,16	1,18	1,14			
	1,18	1,26				
	1,24	1,30				
	1,62	1,56				

Tab. 6 Klasseneinteilung der Gradienten der
M e ß g r u p p e 2.

Zahl der Messungen 28
Gruppenmittel 1,134
mittlere Standardabweichung 0,146

In Meßgruppe 3 konnten, wie bereits erwähnt, nur 5 Meßreihen ausgewertet werden. Dabei ergab sich als Gruppenmittel der Gradienten 1,116 und als mittlere Standardabweichung 0,185. Tab. 7 bringt die Übersicht über die Gradienten, die nach den bekannten Viskositätsklassen aufgeschlüsselt wurden.

Bei der geringen Fallzahl verzichteten wir auf eine weitere statistische Untersuchung der einzelnen Klassen.

Visk.- Klassen	3,0-8,0	8,1-11,0	11,1-14,0	14,1-20,0	20,1-30,0	30,1-55,0
	1,02	1,00	1,02			
	1,44	1,10				

Tab. 7 Klasseneinteilung der Gradienten der
M e ß g r u p p e 3.

Zahl der Messungen	5
Gruppenmittel	1,116
mittlere Standardabweichung	0,185

In Meßgruppe 4, die Anzahl der Messungen betrug 13, lag das Gruppenmittel der Gradienten bei 1,0777, die mittlere Standardabweichung bei 0,0834. In Tab. 8 wurden die ermittelten Gradienten zusammengestellt, eingeordnet unter die jeweils zutreffenden der sechs Viskositätsklassen, wobei, wie anfangs gesagt, der 1-Minutenmeßwert für diese Einordnung maßgebend war.

Eine erweiterte statistische Analyse bringt Tab. 9. Es handelt sich dabei um eine Übersicht über die mehrfach erwähnte statistische Analyse der G r a d i e n t e n. Aufgeschlüsselt wurde diese Übersicht sowohl nach den Meßgruppen 1 - 4 als auch nach den sechs Viskositätsklassen.

Zu Tab. 8 Klasseneinteilung der Gradienten der M e ß g r u p p e 4.

Zahl der Messungen	13
Gruppenmittel	1,0777
mittlere Standardabweichung	0,0834

Tab. 8 (Erklärung siehe vorige Seite.)

Visk.- Klassen	3,0-8,0	8,1-11,0	11,1-14,0	14,1-20,0	20,1-30,0	30,1-55,0
	0,97	1,04				
	1,00	1,06				
	1,00	1,06				
	1,02	1,18				
	1,04					
	1,07					
	1,13					
	1,16					
	1,28					

Meß- gruppe Visk.- Klassen	1	2	3	4
3,0 - 8,0	g = 1,1221 s = 0,1682	g = 1,1610 s = 0,1775		g = 1,0744 s = 0,0995
8,1 - 11,0	g = 1,1550 s = 0,1609	g = 1,1570 s = 0,1811		g = 1,0850 s = 0,0640
11,1 - 14,0	g = 1,2231 s = 0,2452	g = 1,0857 s = 0,0458		
14,1 - 20,0	g = 1,1942 s = 0,1245			
20,1 - 30,0	g = 1,5225 s = 0,3362			
30,1 - 55,0	g = 2,1650 s = 1,1101			

Tab. 9 (Erklärung siehe nächste Seite.)

Zu Tab. 9 Übersicht über die statistische Analyse der Gradienten.
Aufgeschlüsselt wurde nach den Meßgruppen 1 - 4
und nach den sechs Viskositätsklassen.

g = Gruppenmittel der Gradienten
s = mittlere Standardabweichung

III. MEHRFACHMESSREIHEN

Die Mehrfachmeßreihen wurden mit ein und denselben Ejakulaten zu verschiedenen Zeiten nach Wiederverflüssigung durchgeführt, d. h., die einzelnen Meßreihen waren jeweils einer anderen der vier Meßgruppen zugeordnet. Dabei wurden zwei verschiedene Versuchsanordnungen gewählt:

1. Mehrfachmeßreihen mit denselben Chargen von Ejakulaten

Bei dieser Versuchsanordnung wurde von etlichen Ejakulaten je eine Charge entnommen und während verschiedener Zeiten nach Wiederverflüssigung (Meßgruppen) die Viskosität ermittelt. Dabei verblieben

Meß- gruppe	1		2		3		4	
Pat. Nr.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.
2					7,0	1,12	5,5	1,04
30					9,8	1,06	6,2	1,07
47					11,7	1,12	8,5	1,06
55	23,0	1,88	11,0	1,14				
58	22,6	1,70	13,5	1,22				
60	9,0	1,12	7,6	1,05				
61	8,0	1,18	6,3	1,05				
62					12,2	1,11	11,0	1,10

Tab. 10 Mehrfachmeßreihen mit d e n s e l b e n Chargen
(Erklärung im Text)

die Chargen während der gesamten Zeit, vom Beginn der ersten bis Ende der letzten Meßreihe, unter konstanter Temperatur im Meßgehäuse des Viskosimeters.

Tab. 10 gibt einen Überblick über die gewonnenen Resultate. Bei jeder Meßreihe wurde auch der Gradient berechnet, um eine Vorstellung vom Viskositätsverlauf in der Zeiteinheit zu vermitteln.

2. Mehrfachmeßreihen mit verschiedenen Chargen von Ejakulaten

Meß- gruppe	1		2		3		4	
Pat. Nr.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.
7	17,6	1,10	16,4	1,12				
17			8,4	1,24	6,2	1,03		
18					8,1	1,16	5,3	1,00
33	13,7	1,13					5,8	1,04
40	6,0	1,43	6,5	1,62	4,6	1,44		
41			8,0	1,14	8,0	1,18		
46	22,2	1,12	13,2	1,12				
53					12,2	1,11	8,3	1,00
54			8,1	0,99	10,3	0,98		
56	9,5	1,14	9,1	1,01				
57	9,2	1,42	6,5	1,16	6,0	1,15		
59			13,9	1,99	8,9	1,56		
63	18,2	1,22	15,0	1,16	13,2	1,04		
65	12,5	1,11	10,6	1,16				
69	19,3	1,24	10,5	0,95				
70	8,9	1,56	5,4	1,22				
72	11,0	0,93	8,6	1,05				
73			10,9	1,09	10,2	0,96		

Tab. 11 Mehrfachmeßreihen mit verschiedenen Chargen
(Erklärung im Text)

Mit einem anderen Kollektiv wurden Mehrfachmeßreihen, abermals zu verschiedenen Zeiten nach Wiederverflüssigung (Meßgruppen), durchgeführt; der Unterschied zur vorigen Versuchsanordnung bestand darin, daß diesmal jede einzelne Meßreihe mit einer neuen Charge des betreffenden Ejakulates vorgenommen wurde.

In Tab. 11 wurden die gemessenen Werte zusammengefaßt, wobei wieder der jeweilige Gradient zur Charakterisierung des Viskositätsverlaufes dienen sollte.

IV. TEMPERATURABHÄNGIGKEIT DER SPERMAVISKOSITÄT

Messungen an fünf Ejakulaten sollten Aufschlüsse darüber geben, welchen Einfluß verschiedene Temperaturen auf die Viskosität des menschlichen Spermas haben. In allen fünf Fällen konnte ein gleichartiges Verhalten beobachtet werden.

Die Viskositätsverläufe, die wir bei einem dieser Versuche fanden, wurden in Abb. 7 graphisch dargestellt. Folgende Versuchsanordnung wurde gewählt: An einer Spermaprobe wurde bei 23°C eine erste Meßreihe durchgeführt (Kurve A). Unmittelbar nach deren Abschluß erfolgte eine zweite Meßreihe bei 37°C (Kurve B). Nach Beendigung dieser Meßreihe wurde eine letzte, nochmals bei 23°C vorgenommen (Kurve C). Für alle drei Meßreihen verblieb dieselbe Charge im Viskosimeter. Ein Umlaufwasserbad in der Wandung des Meßgehäuses sorgte für den Temperaturwechsel; eine Zeit von 10 Min. war für die Aufwärmung von 23 auf 37°C nötig, die Abkühlung von 37 auf 23°C nahm 15 Min. in Anspruch.

Der Beginn der ersten Meßreihe (Kurve A) lag direkt nach Wiederverflüssigung. Die zweite Meßreihe (Kurve B) begann 50 Min. nach Wiederverflüssigung und die letzte Meßreihe (Kurve C) wurde 105 Min. nach Wiederverflüssigung gestartet.

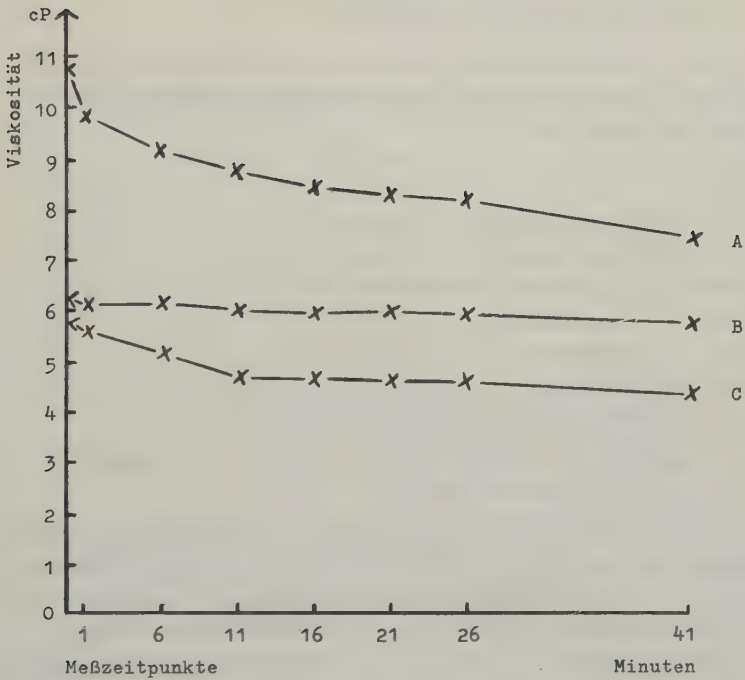


Abb. 7 Darstellung zur Temperaturabhängigkeit der Spermaviskosität.

Kurve A: 23°C, direkt nach Wiederverflüssigung.
Kurve B: 37°C, 50 Min. nach Wiederverflüssigung.
Kurve C: 23°C, 105 Min. nach Wiederverflüssigung.

V. UNTERSUCHUNG DER VISKOSITÄT DES ÜBLICHEN ARTIFIZIELLEN INSEMINATIONS-MEDIUMS

Das in der Humanmedizin übliche artifizielle Inseminationsmedium für das Paillettenverfahren setzt sich wie folgt zusammen:
100 ml der Lösung enthalten

Eigelb	20,0 ml
Glycerin	14,0 ml
5%ige Glukosecitratlösung	26,4 ml
2,9%ige Natriumcitratlösung	39,6 ml
100.000 I.E. wässriges Penicillin G	
50 mg Streptomycin	
2,0 g Glykokoll	

Dieses Medium wurde nach Ansetzen 30 Min. lang bei 56°C erwärmt, danach die Abkühlung auf Raumtemperatur abgewartet.

Beim Inseminationsverfahren werden Sperma und artifiziellies Medium zu gleichen Teilen gemischt.

Was die Viskosität betrifft, so liegt die Problematik darin, daß das jeweilige Eigelbsubstrat Unterschiede in seiner Viskosität aufweist. Bereits RIKMENSPOEL stieß auf dieses Problem bei der Geschwindigkeitsmessung der Bewegungen von Bullenspermien in verschiedenen viskösen Medien (37). Die vorliegende Analyse wurde zur Ermittlung des Viskositätsverlaufes einer solchen Inseminationslösung durchgeführt.

Die ermittelten Meßreihen wurden in Abb. 8 graphisch dargestellt: Unmittelbar nach Fertigstellung der Lösung kamen 1,4 ml, die gleiche Menge wie bei den Viskositätsmessungen des Seminalplasmas, zu einer ersten Untersuchung (Kurve A). Eine zweite Meßreihe mit einer neuen Charge wurde 240 Min. nach Fertigstellung gestartet (Kurve B). Bei beiden Meßgängen betrug die Temperatur 23°C. Nach Beendigung des zweiten Meßganges verblieb die Charge im Meßgerät. Durch das Umlaufwasserbad wurde sie auf 37°C erwärmt und dann erneut gemessen (Kurve C). Die Temperaturerhöhung beanspruchte eine Zeit von 10 Min.

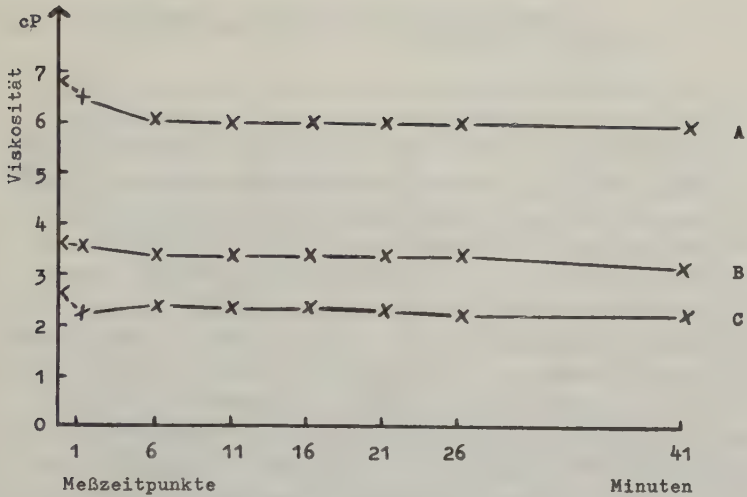


Abb. 8 Darstellung zum Viskositätsverhalten des üblichen artifiziellen Inseminationsmediums.

Kurve A: 23°C, direkt nach Fertigstellung.

Kurve B: 23°C, 240 Min. nach Fertigstellung.

Kurve C: 37°C, 290 Min. nach Fertigstellung.

VI. KORRELATION SPERMATOLOGISCHER KRITERIEN ZUR VISKOSITÄT UND ZUM VISKOSITÄTSVERLAUF

Die untersuchten Ejakulate zeigten überwiegend eine Einschränkung der Spermienbeweglichkeit. Sowohl die quantitative Motilität als auch der Anteil der sich progressiv bewegenden Spermien waren vermindert. Eine Korrelation dieser beiden Kriterien zur Viskosität bzw. zum Viskositätsgradienten war nicht möglich, da beide, absolute Viskositätswerte und Gradienten, eine breite Streuung zeigten. Eine statistische Auswertung erschien demnach nicht gerechtfertigt (46). Zwar konnten RIKMENSPOEL und van DUIJN in ihren experimentellen Arbeiten aufzeigen, daß die Spermienmotilität durch die Konsistenz des umgebenden Mediums beeinflußt wird (10; 37), es handelte sich bei diesen Untersuchungen jedoch um Motilitätsbestimmungen gesunder Bullenspermien, welche Medien verschiedener Viskosität ausgesetzt waren. Unser Ausgangsmaterial bestand demgegenüber aus pathologischen menschlichen Spermien.

Gleichartiges galt für eine Relation von Spermienmorphologie zur Viskosität und zum Viskositätsgradienten. Eine statistische Analyse bot sich auch hier nicht an, da beide wiederum in Korrelation zum Prozentanteil der normalen und pathologischen Spermienformen eine große Streubreite aufwiesen.

Für die Analyse einer möglichen Korrelation zu absoluten Viskositätswerten und zum Gradienten wurden die Ejakulate hinsichtlich ihrer Spermienzahl und ihrer Wiederverflüssigungszeit zusammengestellt.

1. Spermienzahl

Für eine Korrelationsstudie wurden mehrere Gruppen gewählt: Die Gruppe der Aspermien mit der Spermienzahl 0, die Gruppe der Kryptospermien mit der Spermiedichte 0 - 1 Mio./ml, die Gruppe der Oligospermien mit einer Spermiedichte von 1 - 40 Mio./ml sowie die Gruppen der Normospermien mit 40,1 - 150 Mio. und die der Polyspermien mit mehr als 150 Mio. Spermien pro ml.

Die absoluten Werte und die zugehörigen Gradienten wurden zu verschiedenen Zeiten nach Wiederverflüssigung ermittelt und in die

entsprechenden Meßgruppen eingeordnet (Tab. 12 - 16).

Meß- gruppe	1		2		3		4	
	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.
	7,3	1,06	5,7	1,05			5,8	1,04
	7,6	1,05						
	9,0	1,12						
	13,7	1,13						
	16,9	1,00						
	43,0	1,38						

Tab. 12 Viskositätswerte und Gradienten von Ejakulaten
mit A s p e r m i e

Meß- gruppe	1		2		3		4	
	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.
	10,9	1,09	10,2	0,96				
			10,2	1,18				
			14,0	1,14				

Tab. 13 Viskositätswerte und Gradienten von Ejakulaten
mit K r y p t o s p e r m i e

Tab. 14 Viskositätswerte und Gradienten von Ejakulaten
mit O l i g o s p e r m i e

Meß- gruppe	1		2		3		4	
	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.
	5,0	0,93	6,5	1,62	8,8	1,00	5,5	1,04
	5,4	1,22	7,0	1,12	8,8	1,04	6,4	0,97
	6,0	1,43	7,9	1,12			8,5	1,06
	6,3	1,05	8,9	1,56			9,6	1,06
	7,3	0,79	9,9	1,03			10,7	1,18
	7,4	1,40	10,3	0,98				
	8,0	1,18	11,1	1,02				
	8,1	0,99	11,7	1,12				
	8,3	1,18	12,2	1,11				
	8,7	1,26	13,3	1,06				
	8,9	1,56						
	9,7	1,12						
	10,0	1,10						
	10,0	1,39						
	10,5	0,95						
	10,6	1,16						
	11,0	1,14						
	12,5	1,03						
	12,5	1,11						
	13,2	1,12						
	13,5	1,22						
	13,8	1,18						
	13,9	1,99						
	15,5	1,48						
	18,6	1,06						
	19,3	1,24						
	22,3	1,12						
	23,0	1,88						
	25,9	1,39						
	54,5	2,95						

Tab. 15 Viskositätswerte und Gradienten von Ejakulaten
mit Normospermie

Meß- gruppe	1		2		3		4	
	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.
	3,1	1,03	4,4	1,04	11,0	1,10	5,3	1,00
	5,1	1,06	5,0	1,02	11,3	1,02		
	6,5	1,16	5,7	1,24				
	8,3	1,12	6,0	1,15				
	8,4	1,24	6,2	1,03				
	8,6	1,05	8,1	1,16				
	9,1	1,01	9,7	1,26				
	9,2	1,42	10,0	1,08				
	9,5	1,14	12,2	1,11				
	9,7	1,03	13,2	1,04				
	10,0	1,24	14,2	1,05				
	11,0	0,93						
	11,5	1,36						
	11,7	1,18						
	11,9	1,16						
	13,5	1,22						
	15,0	1,16						
	15,3	1,20						
	16,4	1,12						
	17,6	1,10						
	17,7	1,22						
	18,2	1,22						
	19,0	1,22						
	22,6	1,70						

Meß- gruppe	1		2		3		4	
	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.
	18,5	1,31	9,3	1,30	5,5	1,02	4,9	1,16
			9,8	1,06			6,2	1,07
							7,1	1,02

Tab. 16 Viskositätswerte und Gradienten von Ejakulaten
mit P o l y s p e r m i e

2. Wiederverflüssigungszeit

Die Ejakulate wurden hinsichtlich ihrer Wiederverflüssigungszeit in drei Kollektive unterteilt: Wiederverflüssigung innerhalb der ersten 10 Min. post ejaculationem, Wiederverflüssigung in der Zeit von 11 - 30 Min. post ejaculationem und Wiederverflüssigung zu einem noch späteren Zeitpunkt. Die längste aller gemessenen Wiederverflüssigungszeiten lag bei 90 Min.

Für jede dieser drei Gruppen wurden die absoluten Viskositätswerte und die Gradienten zusammengestellt (Tab. 17 - 19).

Da auch hier die Ejakulate zu verschiedenen Zeiten nach Wiederverflüssigung zur Messung kamen, wurden die Ergebnisse in die jeweils zutreffenden der vier Meßgruppen eingereiht.

Meß- gruppe	1		2		3		4	
	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.
	3,1	1,03	5,7	1,05	8,8	1,04	6,4	0,97
	5,1	1,06	6,0	1,15			10,7	1,18
	6,0	1,43	6,5	1,62				
	6,5	1,16	14,2	1,05				
	7,3	1,06						
	7,4	1,40						
	9,1	1,01						
	9,2	1,42						
	9,5	1,14						
	10,6	1,16						
	12,5	1,11						
	13,8	1,18						
	15,3	1,20						
	17,7	1,22						
	18,6	1,06						
	43,0	1,38						
	54,5	2,95						

Tab. 17 Viskositätswerte und Gradienten von Ejakulaten
mit einer Wiederverflüssigungszeit von
0 - 10 Min.

Tab. 18 Viskositätswerte und Gradienten von Ejakulaten
mit einer Wiederverflüssigungszeit von
11 - 30 Min.

Meß- gruppe	1		2		3		4	
	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.
	5,4	1,22	4,4	1,04	11,0	1,10	5,5	1,04
	6,3	1,05	5,0	1,02	11,3	1,02	5,8	1,04
	7,3	0,79	5,7	1,24			6,7	0,97
	7,6	1,05	7,0	1,12			7,1	1,02
	8,0	1,14	8,0	1,18			8,5	1,06
	8,0	1,18	8,9	1,56			8,8	1,04
	8,0	1,21	9,3	1,30			9,6	1,06
	8,1	0,99	9,9	1,03				
	8,6	1,05	10,3	0,98				
	8,7	1,26	11,1	1,02				
	8,9	1,56	11,7	1,12				
	9,0	1,12	12,2	1,11				
	9,8	1,18	13,2	1,04				
	10,0	1,24						
	10,0	1,39						
	10,5	0,95						
	11,0	0,93						
	11,0	1,14						
	12,5	1,03						
	13,2	1,12						
	13,5	1,22						
	13,5	1,99						
	13,7	1,13						
	15,0	1,16						
	16,9	1,00						
	18,2	1,22						
	18,5	1,31						
	19,3	1,24						
	22,3	1,12						
	22,6	1,70						
	23,0	1,88						

Meß- gruppe	1		2		3		4	
	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.
	5,0	0,93	6,2	1,03	5,5	1,02	4,9	1,16
	8,3	1,12	7,9	1,12	8,3	1,00	5,3	1,00
	8,4	1,24	8,1	1,16			5,7	1,00
	9,7	1,03	9,7	1,26			6,2	1,07
	9,7	1,12	9,8	1,06				
	10,0	1,10	10,0	1,08				
	10,9	1,09	10,2	0,96				
	11,5	1,36	10,2	1,18				
	11,7	1,18	12,2	1,11				
	11,8	1,04	13,3	1,06				
	11,9	1,16	14,0	1,14				
	13,5	1,22						
	15,5	1,48						
	16,4	1,12						
	17,6	1,10						
	19,0	1,22						
	25,9	1,39						

Tab. 19 Viskositätswerte und Gradienten von Ejakulaten
mit einer Wiederverflüssigungszeit von
m e h r a l s 3 0 M i n.

VII. KORRELATION KLINISCH-ANDROLOGISCHER BEFUNDE ZUR VISKOSITÄT UND ZUM VISKOSITÄTSVERLAUF

Von den klinisch-andrologischen Befunden interessierten besonders drei Symptomenkomplexe: Entzündliche Prozesse im Bereich der männlichen Adnexe, Durchblutungsstörungen auf dem Boden einer Varikozele und Androgenmangelsyndrome.

1. Entzündungen von Prostata, Samenblasen und Nebenhoden

Bei Entzündungsprozessen im Bereich der männlichen Adnexe muß unterschieden werden nach der Lokalisation, d. h., Prostata, Samenblasen und Nebenhoden sowie nach der Verlaufsform, d. h., akut, chronisch rezidivierend und chronisch. Als Sonderform kommt noch die sog. Kongestionsprostatitis bzw. asymptotische Prostatitis in Betracht.

Wegen des begrenzten Materials wurde für die vorliegenden Untersuchungen eine Einteilung in akute und chronische Entzündung gewählt (Tab. 20 u. 21).

Meß- gruppe	1		2		3		4	
	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.
	5,0	0,93						
	6,3	1,05						
	8,0	1,18						

Tab. 20 Viskositätswerte und Gradienten von Ejakulaten.
Klinisch-andrologischer Befund:
A k u t e r E n t z ü n d u n g s p r o z e ß.

Meß- gruppe	1		2		3		4	
	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.
	7,3	0,79	7,0	1,12			5,5	1,04
	7,6	1,05	8,9	1,56			5,8	1,04
	8,0	1,21	9,9	1,03				
	8,3	1,12	11,1	1,02				
	8,7	1,26	13,3	1,06				
	9,0	1,12	14,2	1,05				
	9,1	1,01						
	9,5	1,14						
	9,8	1,18						
	10,0	1,10						
	10,0	1,39						
	10,5	0,95						
	11,0	1,14						
	11,9	1,16						
	13,5	1,22						
	13,7	1,13						
	13,9	1,99						
	18,6	1,06						
	19,0	1,22						
	19,3	1,24						
	22,6	1,70						
	23,0	1,88						
	43,0	1,38						

Tab. 21 Viskositätswerte und Gradienten von Ejakulaten.
 Klinisch-andrologischer Befund:
 Chronischer Entzündungsprozeß.

2. Varikozelen

Varikozelen werden unter den andrologischen Patienten bei etwa 20 % angetroffen. Auf Grund anatomischer Bedingungen handelt es sich meist um linksseitige, in manchen Fällen um doppelseitige und nur sehr selten um rechtsseitige. Diese Erkrankung muß im Rahmen der allgemeinen Bindegewebskonstitution des betreffenden Patienten gesehen werden. Es handelt sich um anlagebedingte Störungen, die sich als primäre Varikosis im Bereich der unteren Extremitäten, als Hämorrhoidalleiden oder auch als Deformierungen und Schwächen des Fuß- und Wirbelsäulenhalteapparates manifestieren können. Weiterhin besteht Neigung zu Hernienbildung; oft ist auch ein schlaffer Skrotaltumor zu finden.

Von dieser anlagebedingten Varikozelenbildung muß die post-läsionale Venenerweiterung unterschieden werden, wie sie nach Entzündungen des Nebenhodens als dem Hoden aufliegendes Venenkonvolut gefunden wird. Pathogenetisch führend ist in einem derartigen Fall der Entzündungsprozeß (22; 23).

Wie bei den vorigen Untersuchungen wurde auch hier die Viskosität der Ejakulate zu verschiedenen Zeiten nach Wiederverflüssigung bestimmt. Dem entspricht die Einordnung der ermittelten Werte und Gradienten in die jeweils zutreffenden Meßgruppen (Tab. 22 u. 23).

Zu Tab. 22 Viskositätswerte und Gradienten von Ejakulaten.
Klinisch-andrologischer Befund:
I d i o p a t h i s c h e V a r i k o z e l e .

Zu Tab. 23 Viskositätswerte und Gradienten von Ejakulaten.
Klinisch-andrologischer Befund:
S e k u n d ä r e V a r i k o z e l e .

Meß- gruppe	1		2		3		4	
	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.
	7,4	1,40	4,4	1,04				
	8,4	1,24	5,0	1,02				
	8,6	1,05	5,7	1,24				
	10,9	1,09	6,2	1,03				
	11,0	0,93	9,7	1,26				
	13,5	1,22	10,0	1,08				
	15,0	1,16	10,2	0,96				
	15,3	1,20	13,2	1,04				
	16,4	1,12						
	17,6	1,10						
	17,7	1,22						
	18,2	1,22						
	25,9	1,39						

Tab. 22 (Erklärung siehe vorige Seite.)

Meß- gruppe	1		2		3		4	
	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.
	3,1	1,03	6,0	1,15				
	6,5	1,16	8,9	1,56				
	7,3	1,06	13,3	1,06				
	9,2	1,42						
	9,8	1,18						
	10,0	1,39						
	13,5	1,22						
	13,9	1,99						
	22,6	1,70						

Tab. 23 (Erklärung siehe vorige Seite.)

3. Androgenmangelsyndrome

Von Bedeutung war die Frage nach der Einwirkung des Hormonspiegels auf die Konsistenz des Seminalplasmas. Es wurden Fälle mit Androgenmangelsyndrom ausgesucht, teilweise typische Fälle einer postpuberalen LEYDIG-Zellen-Involution mit erniedrigter initialer Fruktose und vermindertem Ejakulatvolumen. Weiterhin war ein Patient mit KLINEFELTER-Syndrom berücksichtigt.

Die folgenden absoluten Viskositätswerte und Gradienten wurden ermittelt und in die entsprechenden Meßgruppen eingeordnet (Tab. 24):

Meß- gruppe	1		2		3		4	
	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.	Visk.	Grad.
	15,5	1,48	10,2	1,18	8,3	1,00		
	16,9	1,00	12,2	1,11				

Tab. 24. Viskositätswerte und Gradienten von Ejakulaten.
Klinisch-andrologischer Befund:
A n d r o g e n m a n g e l s y n d r o m.

DISKUSSION

Die vorliegende Arbeit hatte die Untersuchung von Spermien infertiler Männer hinsichtlich der Viskosität und des Viskositätsverlaufes zum Thema. In der Methode der Viskositätsmessung wurde das Verfahren der Rotationsviskosimetrie angewendet (31; 49). Da das Ausgangsmaterial ein limitiertes Volumen hatte, wurde zur Bestimmung der Viskosität ein Gerät gewählt, das die genaue Messung der Viskosität auch kleiner Volumina zuließ. Die physikalischen Grundlagen der Viskositätsbestimmung wurden in einem besonderen Kapitel dargelegt, ebenso die technischen Bedingungen der Mikro-Rotationsviskosimetrie (35). Die Schwankung der absoluten Genauigkeit des verwendeten BROOKFIELD-Mikro-Viskosimeters Modell LVT beträgt 1% des vollen Skalenbereiches, die Schwankungsbreite der Reproduzierbarkeit 0,2% des vollen Skalenbereiches.

Insgesamt kamen 111 Spermaproben zur Untersuchung. Äußere Bedingungen wie Temperatur und Lichteinfluß waren stets gleich. Die zu messenden Volumina wurden mit geeichten Pipetten in den Meßzylinder des Viskosimeters gebracht. Nach jeweils fünf Meßreihen wurde das Gerät geeicht. Die Bedingungen der Spermagewinnung (Karenzzeit, Gewinnung in Kliniklausur, Aufbewahrung in sterilen Gefäßen) waren ebenfalls konstant.

Nicht zur Diskussion stand die Untersuchung der inneren Fließeigenschaften des Seminalplasmas. Einer derartigen Untersuchung, wie sie etwa bei der Prüfung der rheologischen Eigenschaften von Blut nötig ist (11; 15), bedurfte es hier nicht. Es sollten vielmehr die absoluten Viskositätswerte des menschlichen Spermias ermittelt werden. Weiterhin sollte der Viskositätsverlauf in der Zeiteinheit untersucht werden. Durch die Objektivität der Meßmethode sollte eine Beurteilung der in der spermatologischen Diagnostik üblichen Schätzmethode der Viskosität ermöglicht werden.

Die ermittelten Werte wurden in Korrelation gebracht zu den spermatologischen Kriterien Spermindichte und Wiederverflüssigungszeit sowie zu einigen klinisch-andrologischen Befunden wie Entzündungen im Bereich der männlichen Adnexe, Varikozele und Androgenmangelsyndrom.

Bedingt durch die Meßmethode wurde unmittelbar nach der ersten Messung ein Abfall der Viskosität festgestellt. Dieser Viskositätsabfall beruhte auf einem Ausbreitungseffekt und wurde in ähnlicher Weise bei der Viskositätsbestimmung von Blut und Blutplasma gefunden (11; 15; 36). Der Abfall war umso ausgeprägter, je höher die initiale Viskosität der jeweiligen Spermaprobe lag. Erst bei einer Stabilisierung der Sperma-
viskosität nach mehreren Stunden ließ sich dieser Effekt nicht mehr nachweisen. Aus diesem meßtechnisch bedingten Phänomen läßt sich somit ein Rückschluß ziehen auf die initiale Höhe und Stabilität der Viskosität eines Ejakulates. Wir fanden, daß, verglichen mit der subjektiven Schätzmethode der Viskosität, bei 75 Ejakulaten in 70 Fällen eine positive Übereinstimmung resultierte. In 5 Fällen war keine Übereinstimmung gegeben, wobei 3 Ejakulate einen besonders hohen initialen Viskositätsabfall aufwiesen.

Innerhalb der ersten Stunde nach Wiederverflüssigung kamen 65 Spermaproben zur Untersuchung. Das Gruppenmittel der absoluten Viskositätswerte lag bei 14,1031, und die errechnete mittlere Standardabweichung betrug 8,10 (Tab. 1). Die Häufigkeitsverteilung zeigte einen Gipfel in der Viskositätsklasse 8,1 - 11,0 und war in den Viskositätsklassen 3,0 - 8,0 und 11,1 - 14,0 sowie 14,1 - 20,0 annähernd gleich. In den Viskositätsklassen 20,1 - 30,0 und 30,1 - 55,0 wurden weniger Werte ermittelt (Abb. 4). Die Gradienten des Viskositätsverlaufes streuten zwischen 0,79 und 2,95 (Tab. 5). Sowohl bei den absoluten Werten als auch bei den Gradienten (Tab. 9) war die mittlere Standardabweichung in dieser Meßgruppe erheblich.

Innerhalb der zweiten Stunde nach Wiederverflüssigung wurden 28 Spermaproben untersucht. Das Gruppenmittel der absoluten Werte betrug 9,31, und die mittlere Standardabweichung wurde mit 2,77 errechnet (Tab. 2). In der Häufigkeitsverteilung fanden sich zwei Gipfel in den Viskositätsklassen 3,0 - 8,0 und 8,1 - 11,0. In der Viskositätsklasse 11,1 - 14,0 wurden weniger Werte ermittelt, in der Klasse 14,1 - 20,0 fand sich nur noch ein Wert, höhere Werte wurden nicht mehr beobachtet (Abb. 5). Hierbei zeigte sich eine deutliche Gesetzmäßigkeit sowohl hinsichtlich der absoluten

Viskositätshöhe als auch hinsichtlich der Häufigkeitsverteilung und der mittleren Standardabweichung: In Meßgruppe 2 fanden sich niedrigere initiale Viskositätswerte, und ihre Streuung war geringer als in Meßgruppe 1. Eine Tendenz zur Stabilisierung der Viskosität konnte also schon in der zweiten Stunde nach Wiederverflüssigung festgestellt werden. Entsprechend verhielten sich die Gradienten des Viskositätsverlaufes, die nur noch zwischen 0,96 und 1,62 streuten (Tab. 6). Ihre mittlere Standardabweichung betrug in der Viskositätsklasse 3,0 - 8,0 0,1775, in der Viskositätsklasse 8,1 - 11,0 0,1811 und in der Klasse 11,1 - 14,0 0,0458 (Tab. 9).

Innerhalb der dritten Stunde nach Wiederverflüssigung wurden nur 5 Spermaproben untersucht. Dabei setzte sich die in Meßgruppe 2 deutlich zur Darstellung gekommene Tendenz weiter fort (Tab. 3 u. 7).

Innerhalb der vierten Stunde nach Wiederverflüssigung kamen 13 Spermaproben zur Messung. Die ermittelten absoluten Viskositätswerte lagen zwischen 4,9 und 10,7 (Tab. 4). Die Häufigkeitsverteilung zeigte ein Maximum in der Viskositätsklasse 3,0 - 8,0. Weitere Werte konnten nur noch in der Klasse 8,1 - 11,0 ermittelt werden (Abb. 6). Entsprechend lag die mittlere Standardabweichung der absoluten Viskositätswerte bei 1,825. Die Gradienten streuten zwischen 0,97 und 1,28 (Tab. 8). Ihre mittlere Standardabweichung lag in der Viskositätsklasse 3,0 - 8,0 bei 0,0995 und in der Klasse 8,1 - 11,0 bei 0,0640 (Tab. 9).

Zusammenfassend ließen sich folgende Gesetzmäßigkeiten feststellen:

1. Unmittelbar nach Wiederverflüssigung fand sich eine erhebliche Streuung der absoluten Viskositätswerte und des Viskositätsgradienten, der den Viskositätsverlauf in der Zeiteinheit charakterisierte.
2. Im Verlauf der folgenden Stunden nach Wiederverflüssigung wurden niedrigere absolute Viskositätswerte gemessen; entsprechend war der Viskositätsverlauf in der Zeiteinheit einheitlicher und qualitativ durch einen flacheren Kurvenverlauf gekennzeichnet (Abb. 2 u. 3).

3. Vier Stunden nach Wiederverflüssigung wies das menschliche Sperma nahezu keine Änderung seiner Viskosität mehr auf. In Meßgruppe 4 betrug das Gruppenmittel der absoluten Werte 6,99 , und die mittlere Standardabweichung lag bei 1,825 (Tab. 4). Der Gradient zur Charakterisierung des Viskositätsverlaufes war dem Wert "Eins" weitgehend angenähert, sein Gruppenmittel betrug 1,0777 (Tab. 8).

Dieselbe Tendenz zur Viskositätsstabilisierung wurde durch Mehrfachmeßreihen, durchgeführt an ein- und demselben Ejakulat über einen Zeitraum von maximal drei Stunden, bestätigt (Tab. 10 u. 11).

Unsere Untersuchungen zeigten beim menschlichen Sperma eine eindeutige Temperaturabhängigkeit der Viskosität. Mit ansteigender Temperatur nahm die Viskosität ab, bei einer nachfolgenden Abkühlung stieg sie wieder an (Abb. 7). In ähnlicher Weise wurde diese Temperaturabhängigkeit der Viskosität beim Blut beobachtet (36).

Eine gleiche Temperaturabhängigkeit zeigte auch die Viskosität des in der Humanmedizin üblichen Inseminationsmediums. Auch hier fiel mit steigender Temperatur die Viskosität ab und stieg bei Abkühlung wieder an. Bei diesem Medium fand sich zudem der meßtechnisch bedingte initiale Viskositätsabfall. Die nachfolgenden Messungen ließen dann praktisch keine Änderung der Viskosität mehr erkennen (Abb. 8).

Auf Grund der im Eingangskapitel dargelegten Problematik interessierte die Korrelation zwischen Viskosität bzw. Viskositätsverlauf und Spermiendichte des menschlichen Spermas. Dabei wurde festgestellt, daß bei Aspermie durchaus hohe absolute Viskositätswerte auftraten. Die Streubreite dieser Werte und die Streuung der Gradienten waren erheblich (Tab. 12).

Oligospermien zeigten keine signifikant differierende Zusammensetzung der Viskositätswerte und der Viskositätsgradienten gegenüber der Gruppe der Normospermien (Tab. 14 u. 15). Ebenso wenig zeigten Polyspermien, soweit bei der geringen Fallzahl beurteilbar, ein signifikant differierendes Verhalten in ihren

Viskositätseigenschaften (Tab. 16).

Auf Grund dieser Ergebnisse kann eine Korrelation zwischen Viskosität und Spermiedichte beim menschlichen Sperma nicht angenommen werden.

In der Korrelation zur Wiederverflüssigungszeit ließ sich eine Tendenz zu niedrigen Viskositätswerten bei verkürzter Wiederverflüssigungszeit feststellen. Allerdings wurden bei verkürzter Wiederverflüssigungszeit auch zwei abnorm hohe Viskositätswerte gefunden (Tab. 17). Je länger die Wiederverflüssigungszeit dauerte, desto mehr verschob sich die Verteilung der absoluten Viskosität zu höheren Werten (Tab. 18 u. 19). Dieser Sachverhalt wurde bei der statistischen Analyse von 1100 Ejakulaten, deren Viskosität mit der subjektiven Schätzmethode untersucht wurde, signifikant erhärtet (40).

Das menschliche Sperma zeigt also eine eindeutige Korrelation zwischen Viskosität und Wiederverflüssigungszeit. Beide Kriterien sind jedoch nicht in jedem Fall einander zugeordnet; es finden sich besonders im Bereich einer verkürzten Wiederverflüssigungszeit Abweichungen.

Zu weiteren spermatologischen Kriterien konnte keine Korrelation hergestellt werden, weder zur Spermienmotilität noch zur Spermienmorphologie.

Die klinisch-pathologische Relation zeigte, bei allerdings geringer Fallzahl, keine Abhängigkeit vom Hormonspiegel des Organismus. Bei Androgenmangel fanden sich durchaus mittlere bis leicht erhöhte Viskositätswerte (Tab. 24).

Bei Durchblutungsstörungen auf dem Boden einer Varikozele ließen sich im vorliegenden Material keine Spermaviskositäten ermitteln, die eine Tendenz zu signifikant hohen oder niedrigen Werten aufgezeigt hätten. Die Fallzahl war jedoch zu gering, um eine endgültige Aussage machen zu können (Tab. 22 u. 23).

Entzündungsprozesse im Bereich von Prostata, Samenblasen und Nebenhoden wiesen bei Akuität des Prozesses eine Tendenz zur Erniedrigung der Spermaviskosität auf (Tab. 20). Bei chronischem

Verlauf bestand hingegen eher eine Tendenz zu mittleren und höheren Viskositätswerten (Tab. 21). Auch hier wurde eine genaue Interpretation durch die geringe Fallzahl erschwert.

ZUSAMMENFASSUNG

Mit Hilfe des BROOKFIELD-Mikro-Viskosimeters Modell LVT wurde an 76 Ejakulaten infertiler Männer die Viskosität zu verschiedenen Zeiten nach Wiederverflüssigung in einer Meßreihe über 41 Min. bestimmt. Das Meßverfahren beruhte auf dem Prinzip der Rotationsviskosimetrie. Dabei konnte bewiesen werden, daß die Viskosität des menschlichen Spermas keine konstante Größe ist, sondern eine eindeutige Zeitabhängigkeit aufweist. Aussagen über die absolute Viskosität sollten daher immer durch die Angabe des Meßzeitpunktes nach Wiederverflüssigung präzisiert werden. Das menschliche Sperma muß in seinen biophysikalischen Eigenschaften auch nach Wiederverflüssigung als eine instabile Lösung angesehen werden, die sich erst nach vier bis fünf Stunden den Bedingungen einer NEWTON'schen Flüssigkeit annähert. Eine hohe initiale Viskosität zeigt gewöhnlich einen steilen Abfall in der Zeiteinheit, eine niedrige initiale Viskosität einen geringen Abfall.

Die Viskosität des menschlichen Spermas ist temperaturabhängig; mit steigender Temperatur fällt sie ab, bei Abkühlung steigt sie an.

Eine gleiche Temperaturabhängigkeit weist die Viskosität des in der Humanmedizin üblichen Inseminationsmediums auf.

In der Korrelation zu spermatologischen Kriterien konnte ermittelt werden, daß die Viskosität des menschlichen Spermas durch die Eigenschaften des Seminalplasmas bedingt ist und nicht durch die Zelldichte. Eine eindeutige Korrelation ergibt sich zwischen Wiederverflüssigungszeit des Spermakoagulates und der Viskosität. Bei verkürzter Wiederverflüssigungszeit finden sich durchweg niedrige, bei verlängerter Wiederverflüssigungszeit höhere absolute

Viskositätswerte.

Hinsichtlich klinisch-andrologischer Befunde konnte ermittelt werden, daß bei chronischen Entzündungsprozessen von Prostata, Samenblasen und Nebenhoden die Spermaviskosität erhöht ist, bei akuten Entzündungen dagegen eher vermindert. Eine Korrelation zwischen Spermaviskosität einerseits und Androgenmangel sowie Durchblutungsstörungen auf dem Boden einer Varikozele andererseits konnte nicht festgestellt werden.

LITERATURNACHWEIS

1. AMELAR, R.D.: Coagulation, liquefaction and viscosity of human semen. *J. of Urology* 87, 187, 1962.
2. BEDFORD, J.M.: The saga of mammalian sperm from ejaculation to syngamy. In: *Mammalian Reproduction*, ed. by H. GIBBIAN and E.J. PLOTZ. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1970.
3. BISHOP, D.W.: Sperm motility. *Physiol. Reviews* 42, 1, 1962.
4. BISHOP, M.W.H. and A. WALTON: Mammalian spermatozoa. In: *MARSHALL's Physiology of Reproduction*, Vol 1, Pt 2. London: Longmans 1960.
5. BUNGE, R.G.: Some observations on the male ejaculate. *Fertil. Steril.* 21, 639, 1970.
6. BUNGE, R.G. and J.K. SHERMAN: Liquefaction of human semen by alpha-amylase. *Fertil. Steril.* 5, 553, 1954.
7. BYGDEMAN, M. and R. ELIASSON: Distribution of prostaglandins, fructose and acid phosphatase in human seminal plasma. *Andrologie* 1, 5, 1969.
8. COPLEY, A.L., G.W. SCOTT-BLAIR, F.A. GLOVER and R.S. THORLEY: Capillary flow and wall adherence of bovine blood, plasma and serum in contact with glass and fibrin surfaces. *Kolloidzshr.* 168, 101, 1960.
9. DOKUMENTA GEIGY: *Wissenschaftliche Tabellen*, 7. Auflage 1968.
10. DUIJN, B.C. van, jr and R. RIKMENSPOEL: The mean velocity distributions of normal bull spermatozoa at different hydrogen-ion concentration, derived from photo-electric measurements. *J. of Agric. Sci.* 54, 300, 1960.
11. EASTHAM, R.D. and E.H. MORGAN: Plasma viscosity in clinical laboratory practice. *J. med. Lab. Techn.* 22, 70, 1965.

12. EDER, F.X.: Moderne Messmethoden der Physik. Teil 1, 477.
Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1968.
13. ELIASSON, R.: Biochemical analyses of human semen in the study of the physiology and pathophysiology of the male accessory genital glands. *Fertil. Steril.* 19, 344, 1968.
14. ELIASSON, R., B. FREDRICSSON, E. JOHANNISON and G. LEANDER: Biochemical and morphological changes in the semen from men with diseases in the accessory genital glands. (abst.) 5th World Cong. *Fertil. Steril.*, Stockholm, 1967. *Excerpta med. Internat. Congr. Series* 133, 625, 1968.
15. GELIN, L.E.: Disturbance of the flow properties of blood and its counteraction in surgery. *Acta Chirurgica Scandinavica* 122, 287, 1961.
16. GERSH, I.: Pancreatic dornase for liquefaction of viscid human semen. *Fertil. Steril.* 21, 147, 1970.
17. GLOVER, F.H., G.W. SCOTT-BLAIR: Note on the changes in viscosity of heated bull semen. *Fertil. Steril.* 2, 179, 1951.
18. GRAY, J.: Sperm motility. *J. of Experimental Biology* 35, 96, 1950.
19. HARVEY, C.: Fibrinolysin in human semen. *Proc. Soc. Stud. Fertil.* 1, 11, 1949.
20. HEINKE, E. und R. DOEPFMER: Fertilitätsstörungen beim Manne. In: JADASSOHN's Handbuch der Haut- und Geschlechtskrankheiten, Erg. Werk Bd. VI/3, hrsg. von H. SCHUERMANN und R. DOEPFMER. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1960.
21. HERRMANN, W.P.: Immunologische Charakterisierung der Amino-peptidasen im menschlichen Seminalplasma. *Arch. klin. exp. Derm.* 233, 269, 1968.

22. HORNSTEIN, O.P.: Entwicklung und aktuelle Bedeutung der Andrologie. Münch. med. Wschr. 111, 1956, 1969.
23. HORNSTEIN, O.P.: Kreislaufstörungen im Hoden-Nebenhoden-Bereich und ihre Auswirkungen auf die Potentia generandi. Z. ärztl. Fortbild. (West-Berl.) 53, 829, 1964.
24. JOEL, Ch.: Studien am menschlichen Sperma. Basel: B. Schwabe 1960.
25. JOEL, Ch.: Fertility disturbances in men and women. Basel-München-Paris-New York: S. Karger 1971.
26. KIMMIG, J. und C. SCHIRREN: Die Untersuchung der Sekrete aus Prostata, Bläschendrüse, Nebenhoden und Hoden sowie Bestimmung der Steroidhormone und Gonadotropine im Urin. In: Hdb. Urologie III. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1960.
27. LUNDQUIST, F.: Aspects of the biochemistry of human semen. Acta Physiol. Scand. 19 (Suppl. 66), 1949.
28. MANN, T.: Sperm metabolism. In: Fertilization, ed. by Ch. METZ and A. MONROY, Vol 1, 99. New York-London: Academic Press 1967.
29. MANN, T.: The biochemistry of semen and of the male reproductive tract. London: Methuen 1964.
30. Mc LEOD, J.: Human semen. Fertil. Steril. 7, 368, 1956.
31. MERRILL, E.W.: Basic problems in the viscometry of non-NEWTONian fluids. J. Instr. Soc. Am. 2, 462, 1955.
32. MOGHISSI, K.S.: Mechanism of sperm migration. Fertil. Steril. 15, 15, 1964.
33. MOLNAR, J.: Allgemeine Spermatologie. Budapest: Akadémiai Kiadó 1963.

34. NELSON, L.: Sperm motility. In: Fertilization, ed. by Ch. METZ and A. MONROY, Vol 1, 27. New York-London: Academic Press 1967.
35. PATTON, T.C.: A new method in the viscosity measurement of paint in the settling, sagging, leveling and penetration shear rate range of .001 to 1.0 reciprocal seconds using a cone/plate spring relaxation technique. J. of Paint Technology 38, 656, 1966.
36. RAND, P.W., E. LACOMBE, H.E. HUNT and W.H. AUSTIN: Viscosity of normal human blood under normothermic and hypothermic conditions. J. of Applied Physiology 19, 177, 1964.
37. RIKMENSPOEL, R.: Photoelectric and cinematographic measurements of the motility of bull sperm cells. Utrecht: H.J. Smits 1957.
38. ROTHSCHILD, Lord: Freezing point depression of human seminal plasma. J. nat. med. Ass. 52, 6, 1960.
39. ROTHSCHILD, Lord and H. BARNES: Constituents of bull seminal plasma. J. Exp. Biol. 31, 561, 1954.
40. SAYITZ-HERMSTEIN, D.: Statistische Untersuchungen zur Spermaviskosität an 1100 Ejakulaten infertiler Männer. Inaug. Diss. Erlangen: In Vorbereitung.
41. SCHILLING, E. und J. ZUST: Untersuchungen zur Brunstfeststellung beim Rind. 2. Mitteilung: Viskosität und Fließelastizität von Brunstschleim. Zuchthygiene 3, 30, 1968.
42. SCHIRREN, C.: Fertilitätsstörungen des Mannes. Diagnostik, Biochemie des Seminalplasmas, Hormontherapie. Stuttgart: F. Enke 1961.
43. SCHIRREN, C.: Praktische Andrologie. Berlin: Hartmann 1971.

44. SCOTT-BLAIR, G.W., S.J. FOLLEY, F.H. MALPRESS and F.M.V. COPPEN:
Variations in certain properties of bovine cervical mucus
during the oestrous cycle. *Biochem. J.* 35, 1039, 1941.
45. SZUMOWSKI, P.: *Rec. Méd. Vét.* 124, 124, (cit. MANN, T.).
46. TJIOE, D.Y. and S. OENTOENG: The viscosity of human semen
and the percentage of motile spermatozoa. *Fertil. Steril.*
19, 562, 1968.
47. TONUTTI, E., O. WELLER, E. SCHUCHARDT und E. HEINKE: *Die
männliche Keimdrüse.* Stuttgart: Georg Thieme 1960.
48. VASTERLING, H.W.: *Praktische Spermatologie.* Stuttgart: Georg
Thieme 1960.
49. WELLS, R.E. jr, R. DENTON and E.W. MERRILL: Measurements of
viscosity of biologic fluids by cone plate viscometer.
J. of Laboratory and Clinical Medicine 57, 646, 1961.

Für die freundliche Überlassung der Arbeit gilt mein Dank
Herrn Prof. Dr. Hornstein. Bei der Ausarbeitung unterstützte
mich Herr O.A. Dr. Hofmann in liebenswürdiger Weise.

LEBENS LAUF

Geboren wurde ich am 23. Januar 1945 in Bochum als Sohn des Arztes Hans Bayer und seiner Ehefrau Gisela. Nach dreieinhalb-jähriger Volksschulzeit besuchte ich seit 1955 in Bochum das Graf-Engelbert-Gymnasium und bestand hier am 18. Februar 1964 das Abitur. Im Sommersemester 1964 begann ich in Gießen mit dem Studium der Veterinärmedizin. Seit dem Sommersemester 1965 studierte ich Medizin in Erlangen, wo ich im November 1965 das Vorphysikum und am 1. August 1968 das Physikum ablegte. Nachdem ich die klinischen Semester ebenfalls in Erlangen studiert hatte, bestand ich hier das Staatsexamen am 8. Februar 1972.

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogl, 8520 Erlangen Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990